

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/006548

International filing date: 29 March 2005 (29.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-096809
Filing date: 29 March 2004 (29.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 02 June 2005 (02.06.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 Date of Application: 2004年 3月29日

出願番号 Application Number: 特願2004-096809

パリ条約による外国への出願に用いる優先権の主張の基礎となる出願の国コードと出願番号

The country code and number of your priority application, to be used for filing abroad under the Paris Convention, is

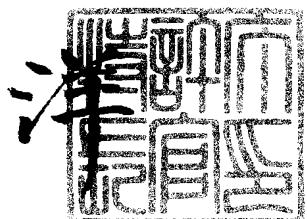
出願人 Applicant(s): 京セラ株式会社

J P 2004-096809

2005年 5月20日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川



【書類名】 特許願
【整理番号】 0000344621
【提出日】 平成16年 3月 29日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01L 31/04
【発明者】
【住所又は居所】 滋賀県八日市市蛇溝町長谷野1166番地の6 京セラ株式会社
滋賀八日市工場内
【氏名】 新楽 浩一郎
【特許出願人】
【識別番号】 000006633
【住所又は居所】 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地
【氏名又は名称】 京セラ株式会社
【代表者】 西口 泰夫
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 005337
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】

光入射面を有する半導体領域と、

前記光入射面への光照射によって前記半導体領域で生じた光生成キャリアを電流として集める前記光入射面に配設された略線状の表集電極と、

前記表集電極と前記半導体領域とが接触したコンタクト部と、を備え、

前記表集電極を流れる電流方向と略垂直な面とこの表集電極が構成する前記コンタクト部の外郭線との交点を前記電流方向に対して連続的に移動したときの軌跡線は、この軌跡線の接線方向と前記電流方向とが一致しない領域を少なくとも一部に含む光電変換装置。

【請求項 2】

前記軌跡線の接線方向と前記電流方向とが一致しない領域には、凹凸状の屈曲が設けられている請求項 1 に記載の光電変換装置。

【請求項 3】

前記表集電極は、前記半導体領域と接触して前記コンタクト部を構成するフィンガー電極と、このフィンガー電極の少なくとも一端部が接続されるとともにこのフィンガー電極よりも線幅を太くした、出力取出用のバスバー電極と、を含む請求項 1 または請求項 2 に記載の光電変換装置。

【請求項 4】

前記フィンガー電極と前記半導体領域とが接触して構成される前記コンタクト部の前記外郭線によって囲まれた面積を S 、前記外郭線を前記電流方向に略垂直な複数の切断面で切断して形成されるそれぞれの切断面内における 2 つの交点間距離の平均値を d 、および前記コンタクト部の外郭線の全長を L としたときに、これらが、次式の関係を有するフィンガー電極を少なくとも一つ有する請求項 3 に記載の光電変換装置。

$$0.5L(S \cdot d^{-1} + d)^{-1} > 1.2$$

【請求項 5】

前記コンタクト部の外郭線の形状は、このコンタクト部を形成する表集電極の中心線であって、この表集電極の電流方向と同方向をなす中心線を挟んで非対称となるようにした部分を少なくとも一部有する請求項 3 または請求項 4 のいずれか一項に記載の光電変換装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】光電変換装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、太陽電池に代表される略線状の表集電極を有した光電変換装置に関する。

【背景技術】

【0002】

現在、太陽電池の主流製品は結晶シリコン基板を用いたバルク型シリコン太陽電池である。特許文献1に記載されているバルク型シリコン太陽電池110の一般的な構成を図7に示す。図7(a)は、断面構造を示す図である。図に示すように、p型シリコンの半導体基板からなるp型バルク領域105の光入射面側にP(リン)原子などが高濃度に拡散され、p型バルク領域との間にpn接合を形成した逆導電型領域104が形成され、さらに窒化シリコン膜や酸化シリコン膜などからなる反射防止膜106が設けられている。また、光入射面の反対側には、アルミニウムなどのp型半導体不純物を多量に含んだp+領域であるp+型領域107が設けられている。

【0003】

光入射面から光が入射すると、逆導電型領域104とp型バルク領域105とp+型領域107とからなる半導体領域103で光生成キャリアが発生するが、これらを電流として集めて出力端子にまで導くために、光入射面側には銀などの金属材料を主成分とする表集電極(バスバー電極101、フィンガー電極102(後述))が設けられ、反対側にはアルミニウムからなる裏面集電極108、銀を主成分とする裏面出力電極109が設けられている。

【0004】

図7(b)は光入射面(表面)側から表集電極を見た図である。同図において101はバスバー電極、102はフィンガー電極を示す。このように、表集電極は、一般的には線幅の狭いフィンガー電極102(枝電極)とそれらフィンガー電極102の少なくとも一端が接続される線幅が太いバスバー電極101(幹電極)とからなっている。

【0005】

この表集電極での電力ロスをできるだけ低減するために、表集電極には、通常、金属材料が使われ、とりわけ抵抗率の低い銀を主成分とすることが一般的であり、例えば、スクリーン印刷法などにより銀ペーストなどを塗布した後、焼成して形成される。

【0006】

また、表集電極は光入射面に配置されるため、必然的に表集電極の面積分の光学ロス(反射ロス)が生じる。そのため表集電極のフィンガー電極102やバスバー電極101は極力細線化する必要があるが、一方で該細線化は、フィンガー電極102やバスバー電極101の線抵抗を増大させるため、電力の抵抗ロスを増大させる方向にあるので、両者(光学ロス側面と抵抗ロス側面)のバランスを考慮して最適設計をする必要がある。また、フィンガー電極102に集められた電子をできる限り損失なくバスバー電極101に運ぶため(フィンガー電極長を最短にするため)、フィンガー電極102はバスバー電極101と直交して設けられることが一般的である。図7(b)のC部の拡大図を図7(c)に示す。図7(c)に示すように通常、フィンガー電極102はほぼ直線的に設けられる。これは、フィンガー電極長に起因した電気的ロス(抵抗ロス)を抑えるとともに、光学ロスを抑えるという目的にかなっている。

【特許文献1】特開平8-274356号公報

【特許文献2】特開平5-75152号公報

【特許文献3】特開平9-102625号公報

【特許文献4】特開平11-31265号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上述のように、表集電極は、光学的なロスとフィンガー電極長に起因した電気的ロスの狭間で最適にバランスするような設計が必要であるが、これらはトレードオフの関係にあるため自ずと限界がある。そこで発明者は、フィンガー電極長に起因した電気的ロス以外に存在する電気的ロスを低減することができないかと鋭意考察し、表集電極と半導体領域103との間の接触抵抗（コンタクト抵抗）の改善という課題に着目した。

【0008】

表集電極／半導体領域103間のコンタクト抵抗は、太陽電池特性のうち、特に曲線因子（FF）に影響する直列抵抗成分のひとつで、コンタクト抵抗の増大はFF特性を低下させて変換効率を低下させる。ここで変換効率 $\eta \propto$ 短絡電流密度 $J_{sc} \times$ 開放電圧 V_{oc} \times 曲線因子FFである。なお、シャント抵抗 R_{sh} が充分に大きくない、すなわちリーク電流が充分小さくない場合は、その程度に比例して特に開放電圧 V_{oc} に影響を及ぼす。

【0009】

そこで、現在市場に売り出されている結晶シリコン系モジュールに使われている多結晶シリコン基板を用いた変換効率15%程度の太陽電池素子について、表集電極／半導体領域103のコンタクト部を起源とするコンタクト抵抗が太陽電池の変換効率に及ぼす影響を計算したところ、これまでに蓄積されている様々な実験データから、変換効率に換算して約0.3%程度のロス量と見積もられた。したがって、このようなコンタクト抵抗を低減することができれば、さらに太陽電池の変換効率を向上させることが可能となる。

【0010】

本発明はこのような課題に鑑みてなされたものであり、表集電極と半導体領域間のコンタクト抵抗を低減することによって、出力特性を向上させた光電変換装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記目的を達成するために、本発明の請求項1にかかる光電変換装置は、光入射面を有する半導体領域と、前記光入射面への光照射によって前記半導体領域で生じた光生成キャリアを電流として集める前記光入射面に配設された略線状の表集電極と、前記表集電極と前記半導体領域とが接触したコンタクト部と、前記表集電極を流れる電流方向と略垂直な面とこの表集電極が構成する前記コンタクト部の外郭線との交点を前記電流方向に対して連続的に移動したときの軌跡線は、この軌跡線の接線方向と前記電流方向とが一致しない領域を少なくとも一部に含む。

【0012】

本発明の請求項2にかかる光電変換装置は、請求項1に記載の光電変換装置において、前記軌跡線の接線方向と前記電流方向とが一致しない領域には、凹凸状の屈曲が設けられるようにした。

【0013】

本発明の請求項3にかかる光電変換装置は、請求項1または請求項2に記載の光電変換装置において、前記表集電極は、前記半導体領域と接触して前記コンタクト部を構成するフィンガー電極と、このフィンガー電極の少なくとも一端部が接続されるとともにこのフィンガー電極よりも線幅を太くした、出力取出用のバスバー電極と、を含むようにした。

【0014】

本発明の請求項4にかかる光電変換装置は、請求項3に記載の光電変換装置において、前記フィンガー電極と前記半導体領域とが接触して構成される前記コンタクト部の前記外郭線によって囲まれた面積をS、前記外郭線を前記電流方向に略垂直な複数の切断面で切断して形成されるそれぞれの切断面内における2つの交点間距離の平均値をd、および前記コンタクト部の外郭線の全長をLとしたときに、これらが、次式の関係を有するフィンガー電極を少なくとも一つ有するようにした。

【0015】

$$0.5L(S \cdot d - 1 + d) - 1 > 1.2$$

本発明の請求項5にかかる光電変換装置は、請求項3または請求項4のいずれか一項に

記載の光電変換装置において、前記コンタクト部の外郭線の形状は、このコンタクト部を形成する表集電極の中心線であって、この表集電極の電流方向と同方向をなす中心線を挟んで非対称となるようにした部分を少なくとも一部有するようにした。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、表集電極と半導体の実質的なコンタクト面積が増えるので両者接触部のコンタクト抵抗を有効に低減することができ、太陽電池特性を向上させることができる。

【0017】

すなわちフィンガー電極のエッジ部分（フィンガー電極が半導体領域となすコンタクト領域の外郭線）を非直線形状としたので、 $R_c = R_{cs} / (W_c \times D_c)$ における W_c が実質的に増大し、その結果としてコンタクト面積が増大してコンタクト抵抗を低減せしめることができるのである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

以下、本発明にかかる光電変換装置である太陽電池素子の実施の形態について、図面に基づき詳細に説明する。

【0019】

図1（a）は本発明にかかる光電変換装置である太陽電池素子の受光面側（表面側）の電極形状の一例を示す図であり、図1（b）は図1（a）のA部において図2（a）のB-B方向の断面で切ったときの部分拡大図である。また、図2（a）は本発明にかかる光電変換装置である太陽電池素子の断面構造を示す図であり、図2（b）は非受光面側（裏面側）の電極形状の一例を示す図である。

【0020】

構造について簡単に説明する。図2（a）に示すように、p型シリコンの半導体基板からなるp型バルク領域5の光入射面側にP（リン）原子などが高濃度に拡散され、p型バルク領域との間にpn接合を形成した逆導電型領域4が形成され、さらに窒化シリコン膜や酸化シリコン膜などからなる反射防止膜6が設けられている。また、光入射面の反対側には、アルミニウムなどのp型半導体不純物を多量に含んだp+領域であるp+型領域7が設けられて、本発明にかかる光電変換装置である太陽電池素子10が構成されている。そして、図1（a）、図2（b）に示すように太陽電池素子10の光入射面側には銀などの金属材料を主成分とする表集電極（バスバー電極1、フィンガー電極2）が設けられ、反対側にはアルミニウムからなる裏面集電極8、銀を主成分とする裏面出力電極9が設けられている。

【0021】

太陽電池素子10の光入射面側である反射防止膜6の側から入射から光が入射すると、逆導電型領域4とp型バルク領域5とp+型領域7とからなる半導体領域3で吸収・光電変換されて電子-正孔対（電子キャリアおよび正孔キャリア）が生成される。この光励起起源の電子キャリアおよび正孔キャリア（光生成キャリア）によって、太陽電池素子10の表側に設けられた略線状の表集電極と、裏側に設けられた裏側電極との間に光起電力を生じ、発生した光生成キャリアはこれらの電極で集められて、出力端子にまで導かれる。

【0022】

図1（a）は光入射面（表面）側から見た表集電極の一例を示す図である。同図において1はバスバー電極、2はフィンガー電極を示す。表集電極は、一般的には線幅の狭いフィンガー電極2（枝電極）とそれらフィンガー電極2の少なくとも一端が接続される線幅が太いバスバー電極1（幹電極）とからなっている。この表集電極での電力ロスをできるだけ低減するために、表集電極には、通常、金属材料が使われ、とりわけ抵抗率の低い銀を主成分とすることが一般的であり、例えば、スクリーン印刷法などにより銀ペーストなどを塗布した後、焼成して形成される。

【0023】

裏側電極は、図2(b)に示されるように、裏面集電極8と裏面出力電極9とからなる。裏面集電極8は、通常、半導体基板であるシリコンに対して、p型化ドーピング元素として作用するアルミニウムを用いて形成され、シリコン基板の裏面側表層部にp+型領域7を形成する。このp+型領域7はBSF(Back Surface Field)領域とも呼ばれ、光生成電子キャリアが裏面集電極8に到達して再結合損失する割合を低減する役割を果たし、光电流密度J_{sc}が向上する。またこのp+型領域7では少数キャリア(電子)密度が低減されるので、このp+型領域7および裏面集電極8に接する領域でのダイオード電流量(暗電流量)を低減する働きをし、開放電圧V_{oc}が向上する。

【0024】

ここで、図1(b)に示すように、本発明の光電変換装置にかかる表集電極において、太陽電池素子10の表集電極(図1(b)に示した例ではフィンガー電極2)と半導体領域3とが接触したコンタクト部2aを有し、表集電極を流れる電流方向Iと略垂直な面Jが、この表集電極と逆導電型領域4とのコンタクト部2aの外郭線2bと交わる交点を電流方向Iに対して連続的に移動したときの軌跡線(本図面の例においては外郭線2bと一致)の少なくとも一部に凹凸状の屈曲が設けられている。このようにコンタクト部2aの外郭線2bに凹凸状の屈曲を設けたことによって、表集電極と半導体領域3との間の接触抵抗(コンタクト抵抗)を低減させることができる。

【0025】

以下、その理由について考察する。図6にフィンガー電極2(特にそのエッジ部分)における電流経路を模式的に示したものを示す。図6において2はフィンガー電極、3は半導体領域、4は逆導電型領域、5はp型バルク領域、6は反射防止膜、7はp+型領域である。

【0026】

図6において、主にp型バルク領域5で生成した電子および正孔キャリアがp-n接合によって分離されて電子キャリアが逆導電型領域4に掃き集められ(正孔キャリアはp+領域側に掃き集められ:不図示)、この掃き集められた電子キャリアが逆導電型領域4を横方向(基板面に水平な方向)に流れて、電子電流としてフィンガー電極2に流れ込む様子を矢印で示している。ここで図中にも示したように、電子電流はフィンガー電極2のエッジ付近に集中して流れる傾向にある。この集中の程度は逆導電型領域4のシート抵抗と表集電極/逆導電型領域4のコンタクト抵抗の大小関係によって決まる。すなわち逆導電型領域4からフィンガー電極2に電子が流れ込む位置(電子が両者の界面を横切る位置)が異なる任意の電流経路を考えた場合に、この電流経路の全抵抗に占めるシート抵抗起源の抵抗に比べて、コンタクト抵抗起源の抵抗が充分に小さければ(通常は大なり小なりこの条件が実現している)、電流は最も抵抗ロスが少ない経路を選んで流れるので、電子電流は図6に示したようにフィンガー電極2のエッジ部分に集中して流れる。一方、もし経路全抵抗に占めるコンタクト抵抗起源の抵抗が非常に大きければ(まれにコンタクト特性が悪い不良セルなどの場合)、電子電流がエッジ部分に集中する程度は弱まり、より広い接触範囲に渡って流れるようになる(不図示)。

【0027】

ここで、本発明においては、図1(b)に示すように、上述した軌跡線(外郭線2b)の少なくとも一部に凹凸状の屈曲が設けられている。このような構成としたので、図6に示したように、フィンガー電極のエッジ部分のフィンガー電極線方向への長さ、すなわち電極エッジ部分の電子電流が集中して流れる領域(面積)を実質的に拡張(増大)することができ、その結果、表集電極と半導体領域3との間の接触抵抗(コンタクト抵抗)を低減させることができるものと思われる。

【0028】

なお、本件が関わる通常のコンタクト特性が実現している場合について言えば、コンタクト抵抗R_c [Ω]は面コンタクト抵抗R_{cs} [Ω・cm²]とコンタクト面積S_c [cm²]とによって、次のように書ける。

$$R_c = R_{cs} / S_c$$

ここでコンタクト面積 S_c をコンタクト幅 W_c (図6において紙面に垂直な方向) とコンタクト奥行き D_c (図6においてコンタクトエッジからフィンガー電極2の内部に向かう紙面に平行な方向) によって $S_c = W_c \times D_c$ と書き表せば、前式は次のように表現される。ここで D_c は図6中のコンタクト有効幅に対応している。

$$R_c = R_{cs} / (W_c \times D_c)$$

すなわち W_c を増大させれば R_c を低減させることができ、本発明によればこの W_c を有効に増大させることが可能になる。

【0029】

なお、一般に D_c の値を知ることは非常に困難であるが、この場合は R_c の代わりに $R_c \times D_c$ を用いて $[\Omega \cdot \text{cm}]$ の単位で議論するのが好都合である。このようにすれば、測定可能な R_{cs} と W_c だけで R_c に比例した量の大小を議論できるからである (R_{cs} は四探針測定法により容易に測定することができる)。これによれば上述の軌跡線(外郭線2b)に凹凸状の屈曲を設けない従来の構造では、 $R_c \times D_c$ の物理量において $2 \sim 4 \Omega \cdot \text{cm}$ 程度と見積もられる。これは、現在市場に売り出されている結晶シリコン系モジュールに使われている多結晶シリコン基板を用いた変換効率 15% 程度の太陽電池素子について、変換効率に換算して約 $0.2 \sim 0.3\%$ 程度のロス量と見積もられる。それに対して本発明にかかる上述の軌跡線(外郭線2b)に凹凸状の屈曲を設けた構成では、コンタクト部の抵抗は、この $R_c \times D_c$ の物理量において、 50% 前後程度低減させることは比較的容易であり、これは変換効率に換算して、従来の構造よりも約 $0.1 \sim 0.15\%$ 程度の改善となる。

【0030】

次いで、図2(a)に示した本発明にかかる太陽電池を形成するプロセスを説明する。

【0031】

まずp型シリコン基板を用意する。図2(a)中、少なくともp型バルク領域5は基板に含まれる。このときp型化ドーピング元素としてはB(ボロン)を用いることが望ましく、濃度は $1 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 程度とし、このとき基板の比抵抗値は $0.2 \sim 2 \Omega \cdot \text{cm}$ 程度となる。

【0032】

基板厚は $500 \mu\text{m}$ 以下にし、より好ましくは $350 \mu\text{m}$ 以下にする。基板としては、キャスト法で鋳造された多結晶シリコンインゴットをスライスして基板にした多結晶シリコン基板や単結晶シリコン基板などを用いる。なおドーピングはドーピング元素単体を適量シリコンインゴット製造時に含ませてもよいし、既にドープ濃度の分かっているB含有シリコン塊を適量含ませてもよい。その後、基板のスライスにともなう基板表層部の機械的ダメージ層を除去するために、この基板の表面側および裏面側の表層部をNaOHやKOHあるいは、フッ酸やフッ硝酸などでそれぞれ $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 程度エッチングし、その後、純水などで洗浄する。

【0033】

次に光入射面となる基板表面側に光反射率低減機能を有する凹凸構造を形成する(不図示)。この凹凸構造の形成にあたっては、上述の基板表層部を除去する際に用いるNaOHなどのアルカリ液による異方性ウェットエッチング法を適用することができるが、シリコン基板がキャスト法などによる多結晶シリコン基板である場合は、基板面内での結晶面方位が結晶粒ごとにランダムにはらつくので、基板全域にわたって光反射率を効果的に低減せしめる良好な凹凸構造を一様に形成することは非常に困難である。この場合は、例えばRIE(Reactive Ion Etching)法などによるガスエッチングを行えば比較的容易に良好な凹凸構造を基板全域にわたって形成することができる(例えば、特許文献2、特許文献3、特許文献4などを参照)。

【0034】

次にn型の逆導電型領域4を形成する。n型化ドーピング元素としてはP(リン)を用いることが望ましく、ドーピング濃度は $1 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 程度とし、シート抵抗が $30 \sim 300 \Omega / \square$ 程度のn⁺型とする。これによって上述のp型バルク領

域5との間にp-n接合が形成される。

【0035】

製法としてはPOCl₃(オキシ塩化リン)を拡散源とした熱拡散法を用いて温度700~1000°C程度で、p型シリコン基板の表層部にドーピング元素を拡散させることによって形成する。このとき拡散層厚は0.2~0.5μm程度とするが、これは拡散温度と拡散時間を調節することで、所望の厚さとすることができます。

【0036】

通常の拡散法では、目的とする面とは反対側の面にも拡散領域が形成されるが、その部分は後からエッチングして除去すればよい。このとき、この基板の表面側以外の逆導電型領域4の除去は、シリコン基板の表面側にレジスト膜を塗布し、フッ酸と硝酸の混合液を用いてエッチング除去した後、レジスト膜を除去することにより行う。また、後述するように、裏面のp+型領域7(BSF領域)をアルミニウムペーストによって形成する場合は、p型ドープ剤であるアルミニウムを充分な濃度で充分な深さまで拡散させることができるので、既に拡散してあった浅い領域のn型拡散層の影響は無視できるようにすることができ、この裏面側に形成されたn型拡散層を特に除去する必要はない。

【0037】

なお、逆導電型領域4の形成方法は熱拡散法に限定されるものではなく、例えは薄膜技術および条件を用いて水素化アモルファスシリコン膜や微結晶シリコン層を含む結晶質シリコン膜などを基板温度400°C程度以下で形成してもよい。ただし薄膜技術を用いて形成する場合は、以下に述べる各プロセスの温度を考慮して後段プロセス程低いプロセス温度となるようにその形成順序を決めることが必要である。

【0038】

ここで水素化アモルファスシリコン膜を用いて逆導電型領域4を形成する場合はその厚さは50nm以下、好ましくは20nm以下とし、結晶質シリコン膜を用いて形成する場合はその厚さは500nm以下、好ましくは200nm以下とする。

【0039】

なお、逆導電型領域4を上記薄膜技術で形成するときは、p型バルク領域5と逆導電型領域4との間にi型シリコン領域(不図示)を厚さ20nm以下で形成すると特性向上に有効である。

【0040】

次に反射防止膜6を形成する。反射防止膜6の材料としては、Si₃N₄膜、TiO₂膜、SiO₂膜、MgO膜、ITO膜、SnO₂膜、ZnO膜などを用いることができる。厚さは材料によって適宜選択され入射光に対する無反射条件を実現する(材料の屈折率をnとし、無反射にしたいスペクトル領域の波長をλとすれば、(λ/n)/4=dが反射防止膜の最適膜厚となる)。例えば、一般的に用いられるSi₃N₄膜(n=約2)の場合は、無反射目的波長を600nmとすれば、膜厚を75nm程度とすればよい。

【0041】

製法としては、PECVD法、蒸着法、スパッタ法などを用い、温度400~500°C程度で形成する。なお反射防止膜6は後述する表集電極1、2を形成するために所定のパターンでバターニングしておく。バターニング法としてはレジストなどマスクに用いたエッチング法(ウェットあるいはドライ)や、反射防止膜6形成時にマスクをあらかじめ形成しておき、反射防止膜6形成後にこれを除去する方法を用いることができる。また別の方法として、反射防止膜6の上に直接電極材料を塗布し焼き付けることによって表集電極1、2と逆導電型領域4を接触させるいわゆるファイヤースルー法も一般的であり、この場合は前記バターニングの必要はない。このSi₃N₄膜には、形成の際には表面バッシベーション効果、その後の熱処理の際にはバルクバッシベーション効果があり、反射防止の機能と併せて、太陽電池素子の電気特性を向上させる効果がある。

【0042】

次に、基板の表面に銀ペーストを、裏面にはアルミニウムペーストおよび銀ペーストを塗布して焼成することにより(以後、印刷焼成法と呼ぶ)、表集電極および裏側電極を形

成する。

【0043】

まず、裏面集電極8として、アルミニウム粉末と有機ビヒクリルとガラスフリットをアルミニウム100重量部に対してそれぞれ10～30重量部、0.1～5重量部を添加してペースト状にしたアルミニウムペーストを、例えはスクリーン印刷法で印刷し、乾燥後に同時に600～850°Cで1～30分程度焼成することにより焼き付けられる。このときにシリコン基板中にアルミニウムが拡散して、裏面で発生したキャリアが再結合することを防ぐp+型領域7（BSF領域）が同時に形成される。このときp+型領域のアルミニウムドープ濃度は、 $1 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 程度とする。なお、p型化ドーピング元素としてはB（ボロン）を用いることもできる。

【0044】

なお、印刷焼成法を用いてこのp+型領域7を形成する場合は、既に述べたように基板表面側の逆導電型領域4形成時に同時に基板裏面側にも形成されているn型の領域を除去する必要もなくすことができる。

【0045】

また、このペースト中の金属成分のうちp+型領域7の形成に使われずこのp+型領域7の上に残存したものはそのまま裏側電極の一部として使うこともでき、この場合は残存成分を塩酸などで特に除去する必要はない。なお、本明細書では、このp+型領域7の上に残存したアルミニウムを主成分とする裏面集電極8が存在するものとして扱うが、除去した場合は代替電極材料を形成すればよい。この代替電極材料としては、後述する裏面集電極8となる銀ペーストを使うことが、裏面に到達した長波長光の反射率を高めるために望ましい。

【0046】

なお、このp+型領域7（裏面側）は、印刷焼成法に代えて、ガス拡散法で形成することも可能である。この場合は、BBr₃を拡散源として温度800～1100°C程度で形成する。このとき、既に形成してある逆導電型領域4（表面側）には酸化膜などの拡散バリアをあらかじめ形成しておく。また、このプロセスによって反射防止膜6にダメージが生じる場合は、このプロセスを反射防止膜形成プロセスの前に行うことができる。またドーピング元素濃度は $1 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 程度とする。これによってp型バルク領域5とこのp+型領域7との間にLow-High接合を形成することができる。

【0047】

なおまた、p+型領域7の形成方法は、印刷焼成法やガス拡散法に限定されるものではなく、例えは薄膜技術を用いて水素化アモルファスシリコン膜や微結晶シリコン相を含む結晶質シリコン膜などを基板温度400°C程度以下で形成してもよい。このとき膜厚は10～200nm程度とする。このとき、p+型領域7とp型バルク領域5との間にi型シリコン領域（不図示）を厚さ20nm以下で形成すると特性向上に有効である。ただし薄膜技術を用いて形成する場合は、以下に述べる各プロセスの温度を考慮して後段プロセス程低いプロセス温度となるようにその形成順序を決めることが必要である。

【0048】

次に本発明の表集電極1、2および裏面出力電極9を形成する。これらは、銀粉末と有機ビヒクリルとガラスフリットを銀100重量部に対してそれぞれ10～30重量部、0.1～5重量部を添加してペースト状にした銀ペーストを、例えはスクリーン印刷法で印刷、乾燥後に同時に600～800°Cで1～30分程度焼成することにより印刷面に焼き付けられる。

【0049】

これらの電極材料としては、銀、Cu、アルミニウムといった低抵抗金属を少なくとも1種含む材料を用いることが望ましいが、抵抗率の関係から銀が最も好ましい。製法としてはこれら金属を含んだペーストを用いた印刷焼成法以外にも、スパッタ法、蒸着法などの真空製膜法を用いることができる。特にペーストを用いた印刷焼成法では、いわゆるフ

アイヤースルー法によって、反射防止膜6をバターニングすることなしに、表集電極1、2となる金属含ペーストを反射防止膜6上に直接印刷し焼成処理をすることによって表集電極1、2と逆導電型領域4との間に電気的コンタクトをとることができ、製造コスト低減に非常に有効である。なお、表集電極1、2の形成は、裏面側のp⁺型領域7の形成に先立って行われてもよい。

【0050】

さらに電極と半導体領域との接着強度を特に高めるため、ペーストを用いた印刷焼成法ではTiO₂などの酸化物成分をペースト中にわずかに含ませ、また真空製膜法では電極と半導体領域との界面にTiを主成分とした金属層を挿入するとよい。なお、裏側電極の場合は、Ti主成分金属層の厚さは5nm以下として金属層が挿入されることによる反射率低減を抑制することが望ましい。裏面集電極8は基板裏面全面に形成することが裏面に到達した長波長光の反射率を高めるために望ましい。

【0051】

なお、裏面集電極8と裏面出力電極9とは重なり合って厚くなると割れが生じやすいので、出力取出用の裏面出力電極9を形成した後、裏面集電極8は、裏面出力電極9ができるだけ覆わないように導通が取れる程度の状態で形成するのが望ましい。なお、この裏面出力電極9と裏面集電極8を形成する順番はこの逆でもよい。また、裏側電極においては上記構造をとらず、表集電極と同様の銀を主成分とするバスバー部とフィンガー部で構成された構造としてもよい。

【0052】

本発明にかかる光電変換装置においては、表集電極のパターンは、既に図1(b)で示したように、逆導電型領域4と集電電極のコンタクト部2aの外郭線2bが、電流方向Iと略垂直な面Jに対して交わる点がI方向に向かって形成する連続した軌跡線の少なくとも一部に凹凸状の屈曲が設けられている。具体的には、例えばペーストを用いた印刷焼成法を用いる場合には、図1(b)に示したような、コンタクト部2aの外郭線2bがジグザグ形状になるような所定の開口パターンを有するスクリーンを用いてスクリーン印刷を行い、上述したように焼き付ければよい。このようにすれば、既に述べたように集電電極のコンタクト部2aの外郭線2bの長さが長くなり、逆導電型領域4との実質的なコンタクト領域が増大するのでコンタクト抵抗を有効に低減することができる。

【0053】

最後に、必要に応じて半田ディップ処理によって表集電極および裏側電極上に半田領域を形成する(不図示)。なお、半田材料を用いない半田レス電極とする場合は半田ディップ処理を省略する。

【0054】

以上によって本発明の光電変換装置が実現される。

【0055】

なお、このようにして形成された光電変換装置である太陽電池素子は、通常、太陽電池素子一枚では発生する電気出力が小さいため、一般的に複数の太陽電池素子を直並列に接続した太陽電池モジュール(不図示)として用いられる。そして、さらにこの太陽電池モジュールを複数枚組み合わせることによって、実用的な電気出力が取り出せるように構成される。

【0056】

次に本発明の光電変換装置にかかる電極の他の実施形態について説明する。

【0057】

図1(b)に示した例では、表集電極と半導体領域3とが接触したコンタクト部2aの外郭線2bに設けた凹凸状の屈曲として、三角形を連続的につけた三角波状のジグザグとなった形態としたが、例えば、図3(a)に示すように、外郭線2bが三角形を断続的につけた形態や、図3(b)に示すように、曲線によって形成されていてもよい。このように多角形、矩形、曲線、あるいはこれらの組合せによって外郭線2bを形成することが可能である。

【0058】

また、コンタクト部2aの外郭線の形状は、コンタクト部2aを形成する表集電極の中心線であって、この表集電極の電流方向Iと同方向をなす中心線を挟んで非対称となるようにしたほうがよい。わかりやすくするために、図4は表集電極のうちフィンガー電極2と半導体領域3とのコンタクト部2aの形状とその外郭線2bで示す。図4(a)に示す例は、この外郭線2bと、電流が流れる方向と同方向の中心線Kを挟んで対向する外郭線2bとのジグザグ形状は、位相がずれた状態であり、互いに非対称の位置関係となっている。このようにすれば、フィンガー電極2の幅が特に狭くなる部分をなくすことができるのでもフィンガー電極2の線抵抗を高めることもなく非常に有効である。図にはフィンガー電極2の中心線を挟んで対称位置にあるエッジ形状の位相差が半周期とした場合について示したが、位相差は半周期に限る必要はなく、フィンガー電極2の括れ部分を少なくすることができれば、その程度に応じて特性向上が期待できる。この場合にもジグザグ形状ばかりでなく、図4(b)、図4(c)に示すように多角形、矩形、曲線、あるいはこれらの組合せによって、その外郭線が、電流が流れる方向を挟んで非対称となるように形成することが可能である。

【0059】

また、図5に示すように、フィンガー電極2と半導体領域3が接触して構成されるコンタクト部2aの外郭線2bによって囲まれた面積をS、外郭線2bを電流が流れる方向Iに略垂直な複数の面で切断したとき、これらそれぞれの切断面中の2つの切断交点間の距離の平均値をd、および外郭線2bの周囲の長さをLとしたときに、これらが、次式の関係を有していることが望ましい。

【0060】

$$0.5L(S \cdot d^{-1} + d)^{-1} > 1.2$$

すなわち、フィンガー電極2の形状を矩形状と仮定した場合に、 $2(S \cdot d^{-1} + d)$ はこの矩形の外周の周囲の長さと等しくなる。したがって、Lをこれで割った $0.5L(S \cdot d^{-1} + d)^{-1}$ は、本発明にかかるコンタクト部2aの外郭線2b（凹凸状の屈曲部を有している）の周囲の長さと、凹凸状の屈曲のない場合（矩形状の場合）の周囲の長さとの比であるから、これはすなわち凹凸状の屈曲によって長くなっている比率を意味する。このように特に表集電極の中でも集電の役割を主として果たすフィンガー電極2と半導体領域3とのコンタクト部2aにおいて、その外郭線2bの周囲の長さLが、同面積の矩形とした場合の外郭線の周囲の長さに対して1.2倍以上にすることにより、コンタクト部2aの有効面積を明らかに増加させて、コンタクト抵抗の低減を図ることができるため、光電変換素子の出力特性を向上させることができる。

【0061】

なお、この凹凸状の屈曲によって長くすべき比率の上限としては、3～5程度とすることが望ましい。すなわち、外郭線2bが2次元構造をなす場合は、比率が値よりも大きくなると、表集電極の面積の増大を招かないためには必然的に、この凹凸状の凸部の線幅が細くなりすぎ線切れなどの問題を招来する。また、外郭線2bを表集電極下の半導体領域表面の凹凸構造を反映させて3次元構造で形成する場合は、比率が値よりも大きくなると、該半導体表面の凹凸構造のアスペクト比（凹凸高さ／凹凸ピッチ）が大きくなりすぎることに対応するため該凹凸構造の凸部でリークが発生しやすくなる。電極。上記に示した範囲においては、これらのバランスが取れており発明の効果を良好に奏する。

【0062】

なお、フィンガー電極2の幅を測定する場合は、その長さ方向にm等分（ $m \geq 6$ ）して、これらの平均値を求めればよい。例えば、図5の場合、d1～d5の5箇所で切断して6等分したものであり、これらの5箇所の平均値をdとすればよい。

【0063】

なお、本発明の実施形態は上述の例にのみ限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々変更を加之得ることはもちろんである。

【0064】

例えば、上述の説明では、表集電極として半導体領域3と接触してコンタクト部2aを構成するフィンガー電極2と、このフィンガー電極2の少なくとも一端部が接続されるとともにこのフィンガー電極2よりも線幅を太くした、出力取出用のバスバー電極1と、を含んだ例によって説明した。このような構成とすることによって、光電変換装置の受光面積を最大限に増加させ、抵抗を最大限に減らすことができる望ましいが、これに限るものではなく、バスバー電極1と半導体領域3と接触したコンタクト部に対して、同様にその外郭線に対して凹凸領域を設けても構わない。

【0065】

また、上述では、出力取出用のバスバー電極1に対して、フィンガー電極2の一端部が略直交して接続された例によって説明したが、直交していない構わぬし、さらにフィンガー電極の両端部がバスバー電極1に接続され、閉じた形状となっていても構わぬ。そして、フィンガー電極2にかかるコンタクト部2aの外郭線2bとして、そのエッジ形状が互いに相似となつた例によって説明したが、これらの形状は相似形状でなくてもよい。

【0066】

さらに表集電極が略直線状となつた例によって説明したが、略曲線状であってもよい。そして半導体基板が平坦な場合（外郭線2bが2次元構造である場合）を例にとって説明したが、これに限るものではなく、例えば、半導体基板表面が、凹凸状（例えばアルカリエッティングによって形成されるピラミッド構造やRIE処理によって形成される微細凹凸形状など）や、曲面状（例えば球形状）であっても（すなわち外郭線2bが3次元構造を有する場合であっても）、本発明の原理・構成によれば、全く同様の効果を奏することは言うまでもない。これらの場合、電流が流れる方向やコンタクト部2a自体も電極形状にしたがって略曲線状あるいは曲面状となるが、この電流が流れる方向に対して略垂直方向を求めるには、電流が流れる方向を示す曲線において、求めたい部分における法線に対して垂直な方向とすればよい。

【0067】

また上述の説明では、p型シリコン基板を用いた太陽電池について説明したが、n型シリコン基板を用いた場合にも、説明中の極性を逆にすれば同様のプロセスによって本発明の効果を得ることができる。

【0068】

そして上述の説明では、シングル接合の場合について説明したが、半導体多層膜からなる薄膜接合層をバルク基板使用接合素子に積層して形成した多接合型であっても、本発明を適用することができます。

【0069】

さらに上述の説明では、キャスティング法を用いた多結晶シリコン基板を例にとったが、基板はキャスティング法によるものに限る必要はなく、また多結晶シリコンに限る必要はない。また、半導体基板に限定されることもなく、半導体薄膜であってもよい。またシリコン材料に限定されることもなく、半導体一般に適用できる。すなわち、化合物系や有機物系の太陽電池にも適用できる。

【0070】

また、上述の説明では、バルク型シリコン太陽電池を例にとったが、本発明はこれらに限定されるものではなく、発明の原理・目的を逸脱しない限り任意の形態とすることができる。すなわち、光入射面を有する半導体領域を備えた光電変換装置であって、前記光入射面への光照射によって前記半導体領域で生じた光生成キャリアを電流として集める、この光入射面に配設された略線状の表集電極と、前記表集電極と前記半導体領域とが接触したコンタクト部であって、このコンタクト部の外郭線は、前記電流が流れる方向と略垂直方向に対して交わる部分の少なくとも一部に凹凸状の屈曲が設けられたコンタクト部と、を備えていれば、太陽電池以外の光センサなどの光電変換装置一般に適用できる。

【0071】

さらに、上述の説明では、本発明の光電変換装置にかかる軌跡線（上述した例において

は外郭線と一致)の少なくとも一部に凹凸状の屈曲が設けられている例によって説明したが、この軌跡線の領域の少なくとも一部に、その接線方向と電流方向とが一致しない領域を含むように構成すれば、本発明の効果を奏する。接線方向と電流方向とが一致しない領域とは、例えば、凹凸状の屈曲形状の例では、凹部から凸部あるいは凸部から凹部への移行部などが含まれる。

【実施例】

【0072】

以下、上述の実施形態に沿って作製した光電変換装置であるバルク型結晶シリコン太陽電池について、表集電極のフィンガー形状と特性との関係を調べた実験結果について説明する。ただし、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

【0073】

基板としては、キャスト法で製造された $150\text{ mm} \times 155\text{ mm}$ サイズの平板状のp型多結晶シリコン基板を用い、図2(a)に示した構成で太陽電池素子を形成した。

【0074】

本発明の光電変換装置にかかる表集電極は、銀を主成分としたペーストを用いて印刷焼成した。表集電極の全体パターンは、図1において、基板の向きを縦方向 150 mm ・横方向 155 mm としたときに、基板縦中心線に対して線対称に配置されたバスバー電極1の長さを 147.5 mm 、バスバー電極1の幅を 2 mm 、二つのバスバー電極1の中心線間距離を 77.5 mm 、バスバー電極1に対して垂直(基板横方向)に配置され基板縦中心線に対して線対称に配置されたフィンガー電極2の基板一端から他端までの長さ(途中で横切るバスバー電極1の幅を含むとしたとき)を 152.8 mm 、フィンガー電極2の平均の幅を $165\mu\text{m}$ 、隣接するフィンガー電極2の中心線間の平均距離を 2.38 mm とした。なお、フィンガー電極2の平均の幅は、上述したようにバスバー電極1に接続した一端から他端までの長さを10等分して、各々の位置(9ポイント)における幅を求め、平均値を求めた。

【0075】

この全体パターンを共通条件として、図1(b)および図3、図4に示すフィンガー電極形状の効果を確認する実験を行った。

【0076】

まず、図1(b)に示すような本発明の光電変換装置にかかる軌跡線、すなわちフィンガー電極2と半導体領域3のコンタクト部2aの外郭線2bに対して、凹凸状の屈曲を設けた場合について実験を行った。実験結果を表1に示す。ここで凹凸状の屈曲は、いずれの形状条件であっても表集電極の受光面に占める面積割合がほぼ同一になるようにしてある。また、表1には、フィンガー電極2のコンタクト部2aの外郭線2bが凹凸状の屈曲ではない場合(すなわち略直線状の場合)の外周長さを1に規格化したときの凹凸状の屈曲の度合いに対応した外周長さの比率を示している。これはすなわち本発明の請求項3で説明した、

$$0.5L(S \cdot d - 1 + d) - 1$$

の式で表される値に該当する。ここで凹凸状の屈曲の1周期距離はおよそ $10 \sim 20\mu\text{m}$ 程度とした。

【表 1】

規格化外周長さ	効率	I sc [A]	Voc [V]	FF
1. 0	16. 03	7. 970	0. 6143	0. 761
1. 2	16. 06	7. 971	0. 6147	0. 762
1. 4	16. 11	7. 971	0. 6149	0. 764
1. 6	16. 13	7. 971	0. 6151	0. 765

【0077】

表1より、本発明によって特性向上がなされていることが明らかである。すなわちフィンガー電極2のコンタクト部2aの外郭線2bに凹凸状の屈曲を設けたことにより、実質的なコンタクト面積が増大した結果、コンタクト抵抗成分が低減されて特性が向上したと考えられる。

【0078】

次に、図4に示すフィンガー形状の効果を把握するための実験を行った。表2には、上述の表1の規格化外周長さが1. 4の場合について、図4に示すようにフィンガー電極2の電流が流れる方向と同方向の中心線を挟んで対称位置にある凹凸状の屈曲のエッジ形状の位相を半周期ずらして、非対称としたときの実験結果を示す。

【表 2】

規格化外周長さ	凹凸形状の位相差	効率	I sc [A]	Voc [V]	FF
1. 4	なし	16. 11	7. 971	0. 6149	0. 764
1. 4	半周期	16. 14	7. 970	0. 6148	0. 766

【0079】

表2より、凹凸状の屈曲の位相差を半周期ずらしたことによる特性向上効果が明らかである。すなわち、凹凸状の屈曲の位相差を半周期ずらして、非対称としたことによりフィンガー電極2の括れた部分が解消されてフィンガー電極2の線抵抗が有効に低減され、特性向上が図れたものと考えられる。

【図面の簡単な説明】

【0080】

【図1】(a)は、本発明にかかる光電変換装置の一例である太陽電池素子の受光面側(表面側)の電極形状の一例を示す図であり、(b)は(a)のA部において図2(a)のB-B方向の断面で切ったときの部分拡大図である。

【図2】(a)は本発明にかかる光電変換装置の一例である太陽電池素子の断面構造を示す図であり、(b)は非受光面側(裏面側)の電極形状の一例を示す図である。

【図3】(a)、(b)は、本発明にかかるコンタクト部の実施形態の例を示す図であり、図1(a)のA部において図2(a)のB-B方向の断面で切ったときの部分拡大図である。

【図4】(a)、(b)、(c)は、本発明にかかるコンタクト部の実施形態の例を示す図であり、図1(a)のA部において図2(a)のB-B方向の断面で切ったときの部分拡大図である。

【図5】本発明にかかるフィンガー電極の寸法構成において好ましい態様を説明するための図である。

【図6】一般的なフィンガー電極(特にそのエッジ部分)における電流経路を模式的

に示す図である。

【図7】バルク型シリコン太陽電池の一般的な構成を示し、(a)は断面構造図であり、(b)は光入射面(表面)側からの表集電極の上視図であり、(c)は(b)のC部の部分拡大図である。

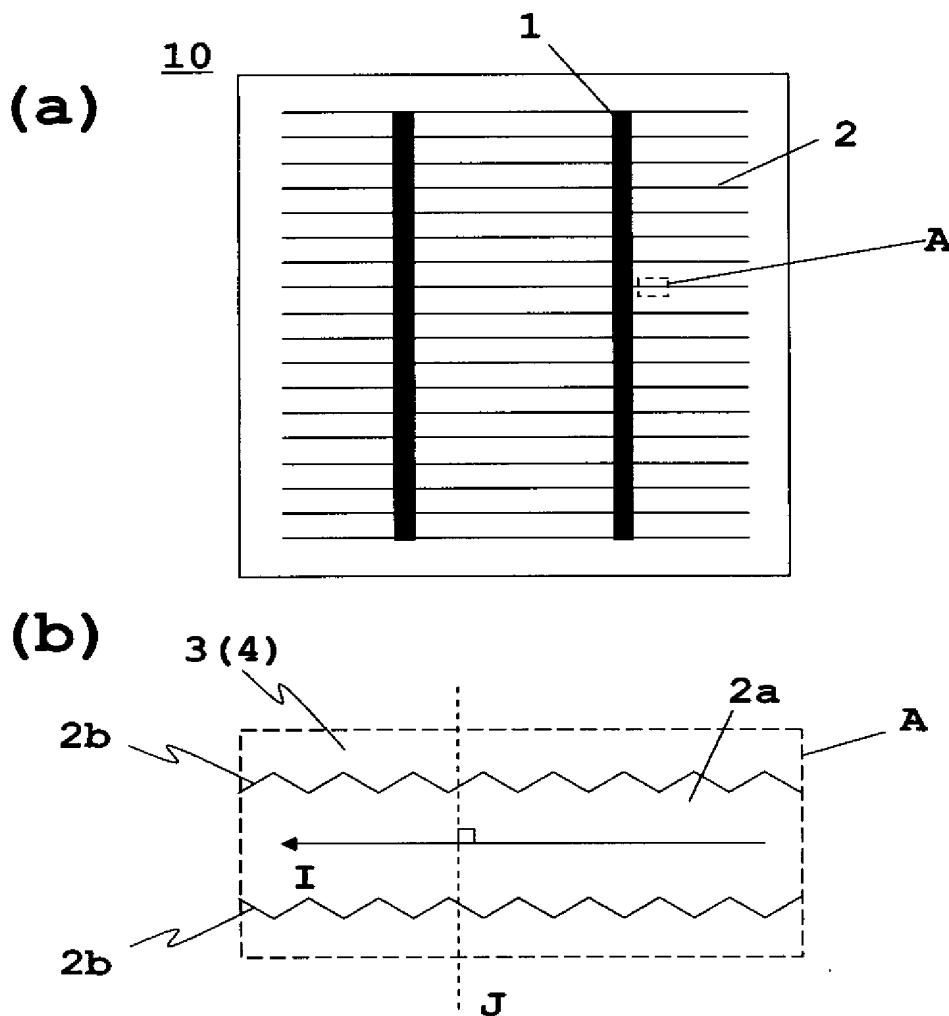
【符号の説明】

【0081】

- 1：表集電極であるバスバー電極
- 2：表集電極であるフィンガー電極
- 2 a：コンタクト部
- 2 b：外郭線
- 3：半導体領域
- 4：逆導電型領域
- 5：p型バルク領域
- 6：反射防止膜
- 7：p+型領域
- 8：裏面集電極
- 9：裏面出力電極
- 10：太陽電池素子

【書類名】図面

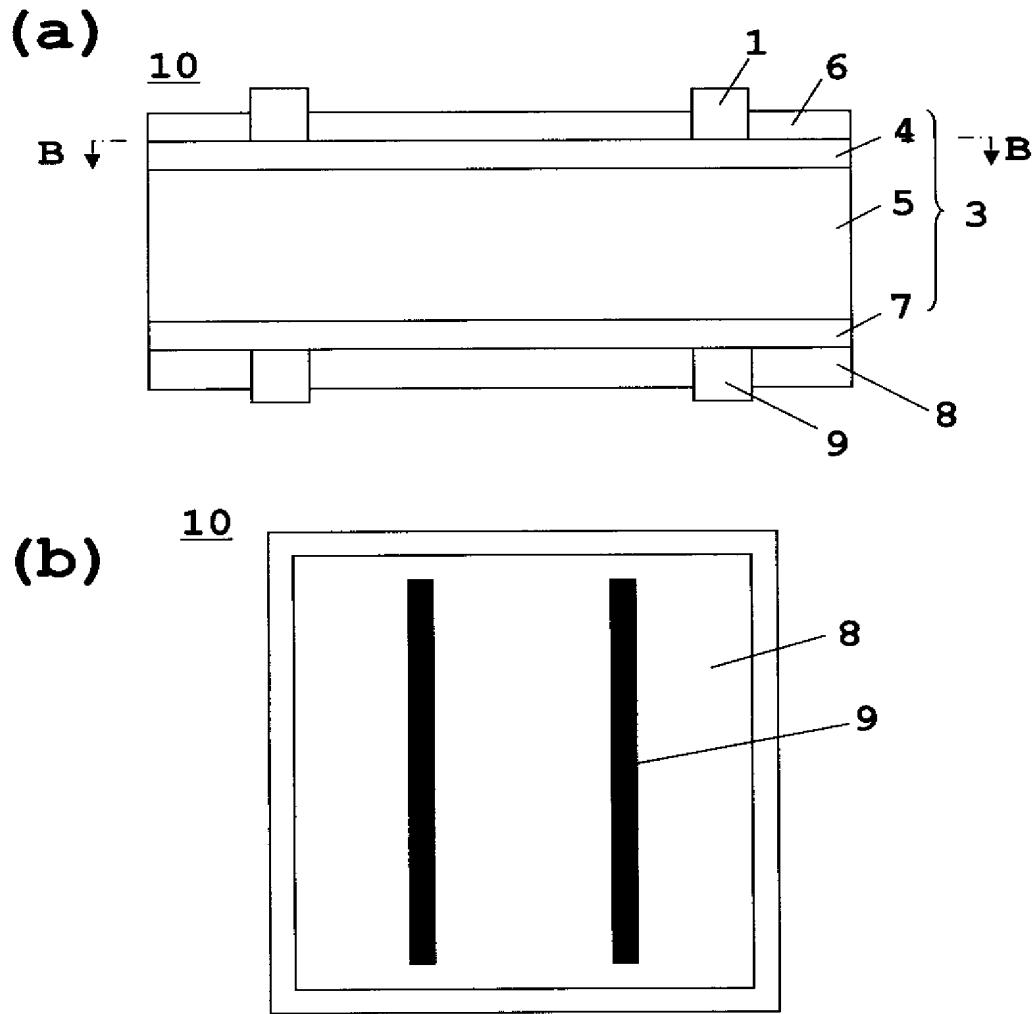
【図 1】



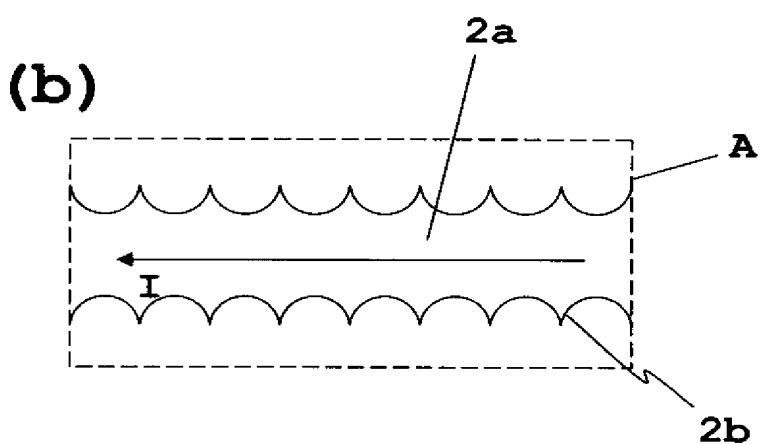
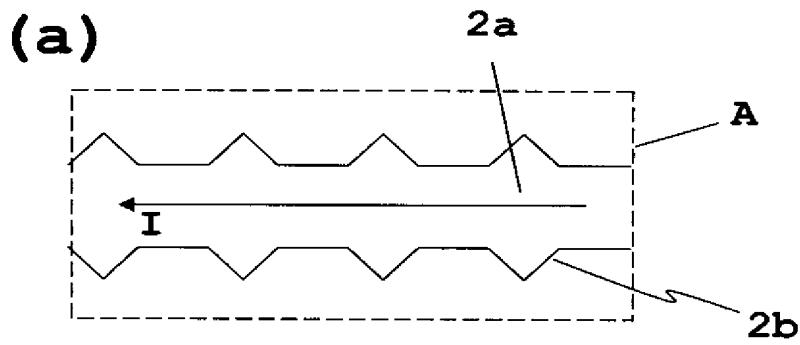
I: 表集電極を流れる電流方向

J: Iに対して略垂直な面(断面方向から)

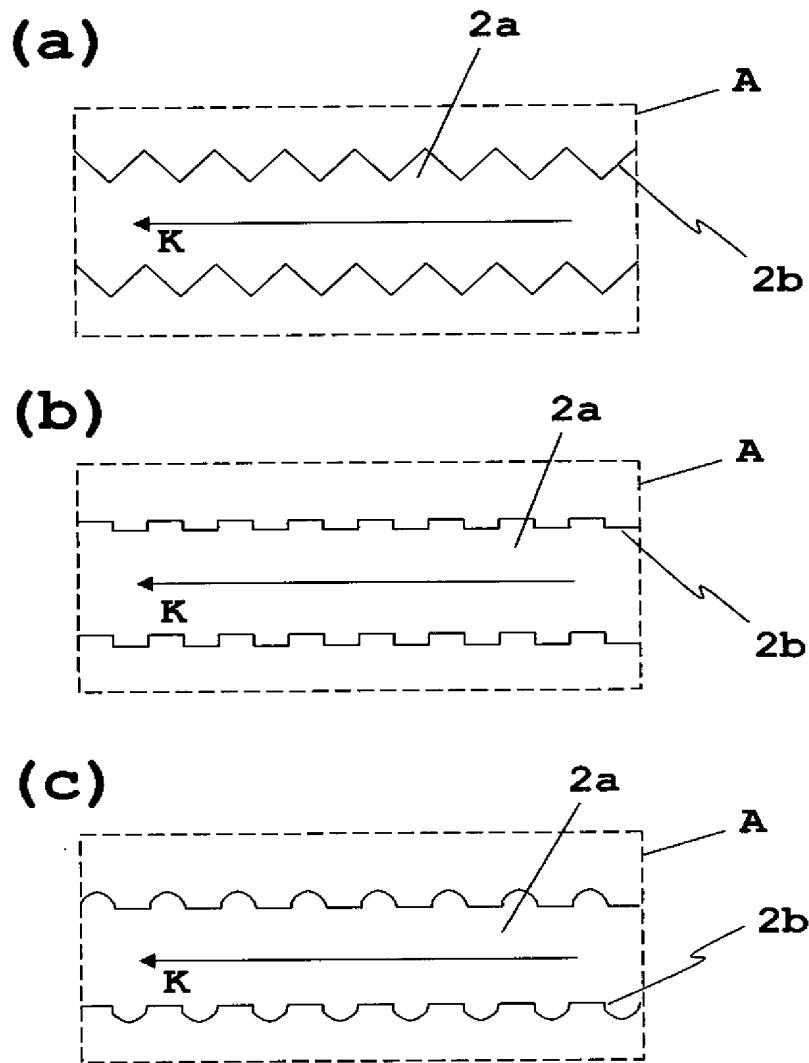
【図 2】



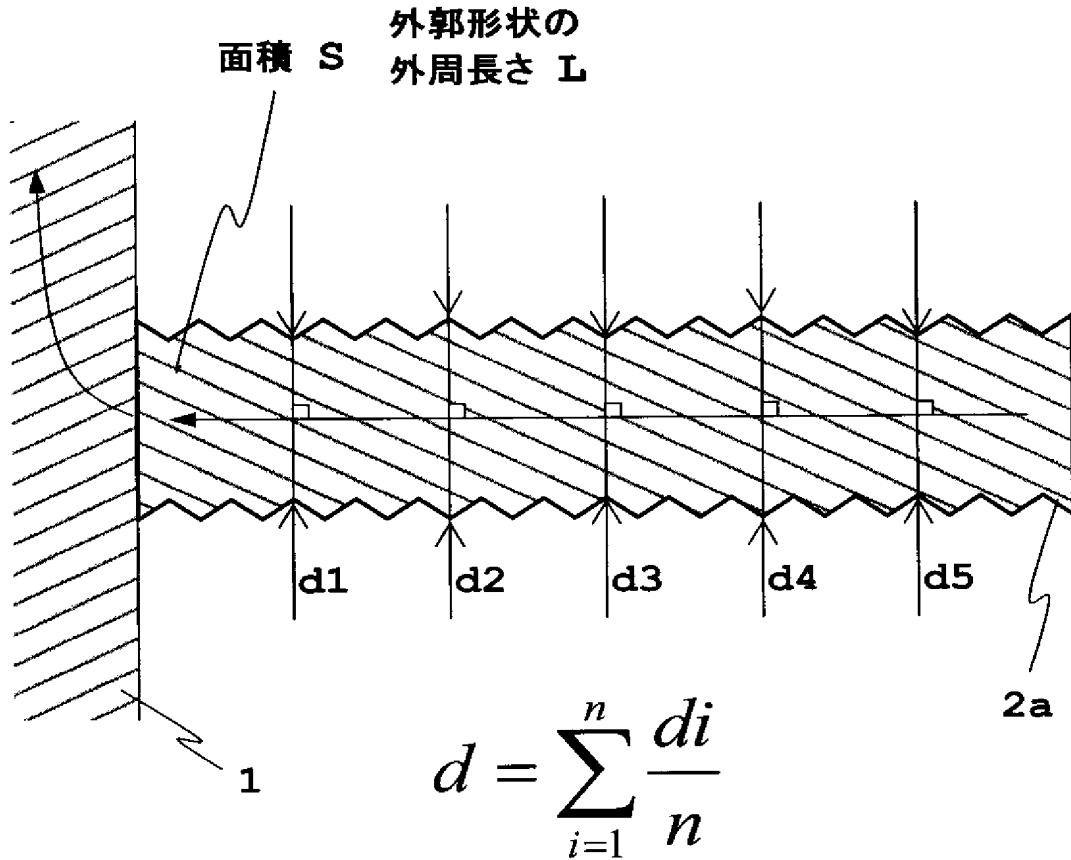
【図 3】



【図 4】

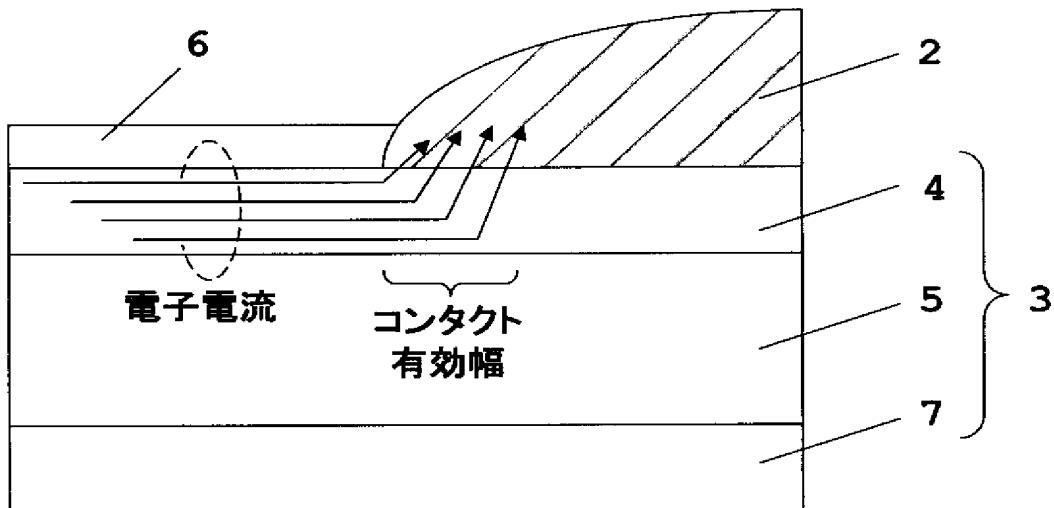


【図 5】

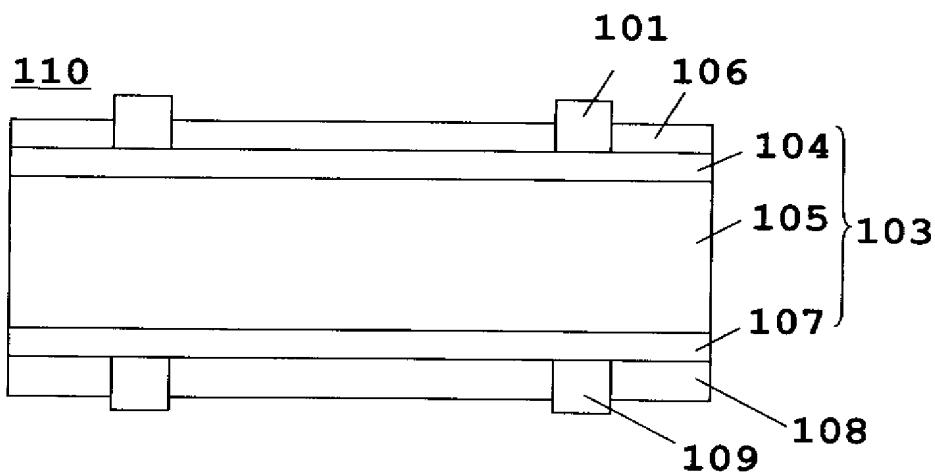


$$0.5L(Sd^{-1} + d)^{-1} > 1.2$$

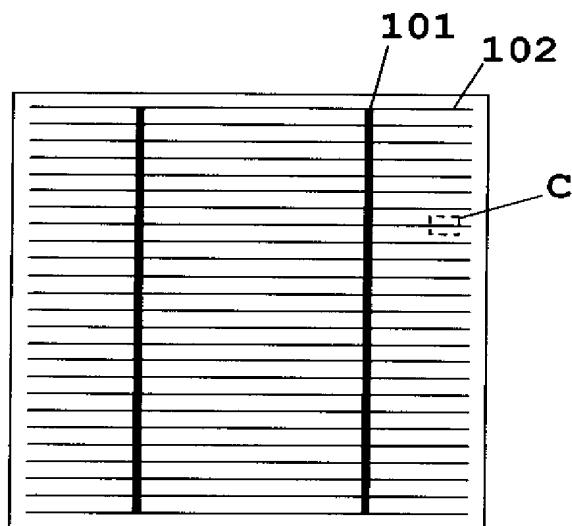
【図 6】



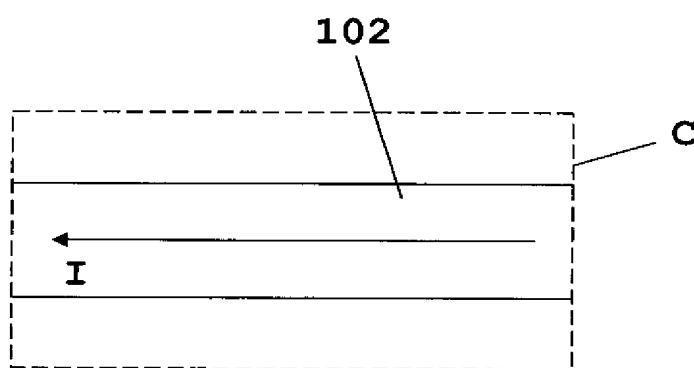
(a)



(b)



(c)



【書類名】要約書

【要約】

【課題】表集電極と半導体領域間のコンタクト抵抗を低減することによって、出力特性を向上させた光電変換装置を提供する。

【解決手段】光入射面を有する半導体領域3と、光入射面への光照射によって半導体領域3で生じた光生成キャリアを電流として集める光入射面に配設された略線状の表集電極1、2と、表集電極1、2と半導体領域3とが接触したコンタクト部2aと、表集電極1、2を流れる電流方向Iと略垂直な面Jとこの表集電極1、2が構成するコンタクト部2aの外郭線2bとの交点を電流方向に対して連続的に移動したときの軌跡線2bと、を備え、この軌跡線2bは、その接線方向と電流方向とが一致しない領域、例えば、凹凸状の屈曲領域を少なくとも一部に含む。

【選択図】図1

出願人履歴

0 0 0 0 6 6 3 3

19980821

住所変更

京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地
京セラ株式会社